

Subsidencia sísmica en las cuencas neógenas lacustres del Prebético de Albacete

M.A. Rodríguez-Pascua¹, G. De Vicente¹ y J.P. Calvo²

¹ Dpto. Geodinámica, F. CC. Geológicas, Universidad Complutense, 28040 Madrid. mpascua@eucmos.sim.ucm.es y albosque@eucmax.sim.ucm.es

² Dpto. Petrología y Geoquímica, F. C.C. Geológicas, Univ. Complutense, 28040 Madrid. jpcalvo@eucmax.sim.ucm.es.

ABSTRACT

Seismic subsidence has been calculated in the Prebetic Neogene basins of Albacete (Betic Chain, Spain). The existent paleoseismic data allow us to know the number of earthquakes and their approximate magnitudes. The paleoseismic events are located into varved beds therefore we have obtained the sedimentation rate. Using rupture parameters in faults (rupture length and surface displacement) we have calculated the seismic subsidence rate, in base of the sedimentation rate. The minimum seismic subsidence value is 10% and 50% as maximum.

Key words: seismic subsidence, lacustrine basins and paleoseismic data.

Los estudios paleosísmicos realizados en las cuencas lacustres neógenas del Prebético Externo del área de Hellín, ofrecen datos suficientes para poder realizar una estimación de la subsidencia generada por la actividad sísmica. Concretamente, este estudio se ha llevado a cabo en las cuencas messinienses de El Cenajo, Elche de la Sierra-Cobatillas e Híjar (Albacete) (Fig. 1). Elízaga (1994) realiza un estudio petrológico en estas cuencas y menciona la presencia de sismitas en las mismas. En estas cuencas se puede observar un amplio "catálogo" de diferentes tipos sismitas a todas las escalas (Rodríguez-Pascua, 1997; 1998), pero el estudio se ha centrado en conjuntos métricos de varvas. Las estructuras de origen sísmico, concretamente niveles de mezcla (Marco *et al.*, 1994), fueron datadas de forma relativa por Rodríguez Pascua *et al.* (1999), si consideramos la anualidad de la sedimentación varvada (cada duplete, laminita blanca-oscura, corresponde a un año de sedimentación).

SITUACIÓN GEOGRÁFICA Y GEOLÓGICA

El área de estudio se sitúa en el sector suroriental de la Comunidad Autónoma de Castilla-La Mancha, en la zona Sur de la provincia de Albacete. Desde el punto de vista geológico, las cuencas de El Cenajo, Elche de la Sierra-Cobatillas e Híjar, forman parte de un conjunto de cuencas neógenas lacustres localizadas en la banda de transferencia N del arco estructural Cazorla-Alcaraz-Hellín. Las principales estructuras que condicionan la dinámica del área durante la orogenia alpina son los desgarres diestros que la cruzan en dirección NO-SE. Estos tres desgarres corresponden, de Norte a Sur, a las fallas de Socovos-Calasparra, Lietor y Pozohondo (Fig. 1). La Falla de Socovos-Calasparra separa los dominios del Prebético Interno (al Sur) del Prebético Externo (al Nor-

te). Las fallas de Lietor y Socovos-Calasparra diferencian una zona elevada de relieve significativo, donde se generan las principales cuencas lacustres (Mioceno sup.) a favor de fallas normales E-O. La falla de Pozohondo constituye el límite N-E de la zona de transferencia del arco.

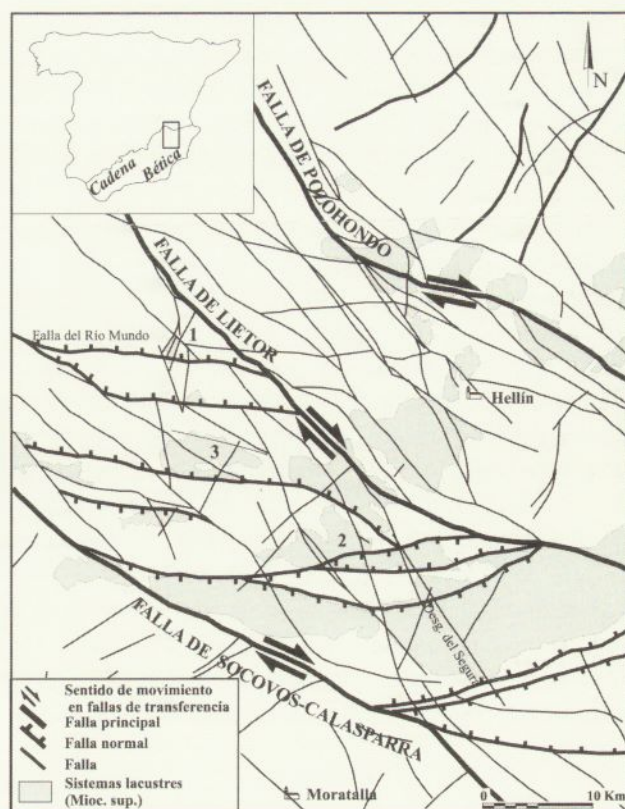


FIGURA 1: Situación geográfica y geológica de la zona de estudio. Esquema tectónico del área de estudio, 1. Cuenca de Híjar, 2. Cuenca de El Cenajo y 3. Cuenca de Elche de la Sierra.

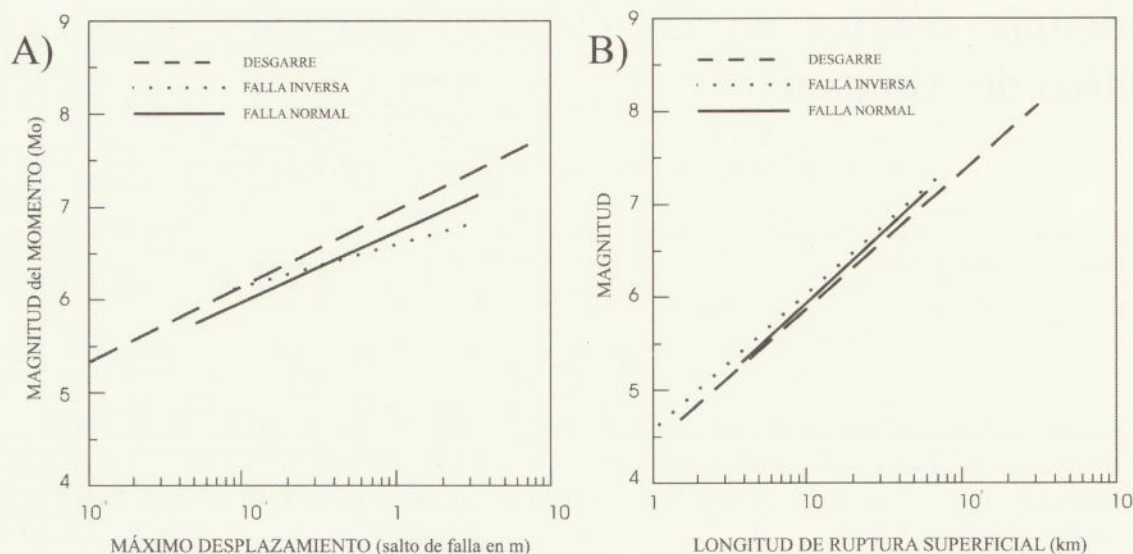


FIGURA 2: Ábacos empíricos que relacionan: A) magnitud del momento/máximo desplazamiento y B) magnitud/longitud de ruptura superficial de la falla. Modificada de Wells y Coppersmith (1994).

ANÁLISIS DE LA SUBSIDENCIA SÍSMICA EN LAS CUENCAS ESTUDIADAS

La magnitud de un terremoto está condicionada por los parámetros de rotura de las fallas, particularmente de su longitud y de su desplazamiento. Hay publicadas numerosas relaciones empíricas entre estos parámetros, siendo quizás la más completa hasta el momento la de Wells y Coppersmith (1994). Estos autores relacionan, para los distintos tipos de fallas (normales, desgarres e inversas), la magnitud del momento (M) con la longitud de la rotura superficial, el desplazamiento máximo, el desplazamiento promedio, la longitud de la rotura subterránea y el área de rotura de la falla causante del terremoto (Fig. 2). Las magnitudes mínimas consideradas se sitúan próximas a 4,5, ya que la base de datos está construida a partir de terremotos históricos.

Dado el tipo de datos paleosísmicos y sedimentológicos disponibles en estas cuencas, podemos intentar estimar, a grandes rasgos, a partir de este tipo de análisis, cuál fue la cuantía del hundimiento de las cuencas neógenas provocada por los paleoterremotos detectados. Se presenta a continuación un ensayo de cuantificación del hundimiento debido dichos paleoterremotos. Esta cuantificación es parcial ya que se deduce a partir de segmentos de la columna litoestratigráfica total que aparece en cada una de las cuencas. De acuerdo con ello, los resultados de hundimiento obtenidos tienen valor exclusivamente para el intervalo estratigráfico registrado en los segmentos de columna estudiados.

SUBSIDENCIA SÍSMICA

En la tabla 1 se muestran los datos necesarios para efectuar este análisis: el número de eventos, la tasa de

sedimentación, la magnitud mínima y la máxima de los paleoterremotos detectados y la potencia de los sedimentos de cada uno de los segmentos de columna estudiados. Estos tramos de columna corresponden a paquetes de sedimentos laminados, en los que debido al carácter anual de la sedimentación se puede determinar la tasa de sedimentación. En estos mismos tramos Rodríguez Pascua *et al.* (1999) determinaron los periodos de recurrencia de paleoterremotos, para los que se obtuvo una media de 130 años, magnitudes próximas a 4. Las sismitas utilizadas para este trabajo corresponden a niveles de mezcla, definidos por Marco y Agnon (1995).

Para cada segmento de columna en las diferentes cuencas estudiadas (Híjar 1, Híjar 2, Elche 1 y Cenajo 1) vamos a analizar el efecto que produciría la suma de los hundimientos provocados por el número de paleoterremotos detectados. Para esto utilizaremos el ábaco que relaciona la magnitud del momento con el máximo desplazamiento (Fig. 2A), suponiendo movimientos en fallas normales con buzamientos medios de 60° .

Ya que las paleomagnitudes mínimas detectadas son inferiores a 4,5 (Tabla 1) vamos a considerar los efectos

Tabla 1

Datos relativos a las columnas de detalle: Híjar1, Híjar2, Elche y Cenajo1.

	Nº eventos datados	Potencia de la colum.	Tasa de sedim. (mm/año)	Magnitud mínima	Magnitud máxima
Columna Híjar 1	11	0,87 m	0,73	3,8	4,9
Columna Híjar 2	10	1,4 m	0,5	4,1	5,5
Columna Elche1	31	2,03 m	0,64	3,7	6,1
Columna Cenajo 1	21	1,54 m	0,66	3,7	5,7

Tabla 2

Relación entre diferentes momentos de magnitud y las potencias (de origen sísmico) estimadas para cada segmento de columna.

Magnitud del momento	Desplazamiento (m)	Salto vertic. acumu. (m)	Potencia estimada para cada segmento de columna (m)			
			Hijar 1	Hijar 2	Elche1	Cenajo 1
4,5	0,001	0,00086	0,009	0,008	0,018	0,026
5	0,006	0,0052	0,057	0,052	0,11	0,16
5,5	0,03	0,026	0,33	0,3	0,63	0,93
6	0,15	0,12	1,65	1,5	3,15	4,65

producidos por terremotos con magnitudes comprendidas entre 4,5 y 6. Dado el nivel de paleosismicidad observado en los segmentos de columnas, los datos correspondientes a magnitudes de 4,5 serían los más adecuados. No obstante, resulta difícil establecer la relación existente entre la magnitud del momento (M), empleada en los ábacos, y las magnitudes establecidas en este estudio a partir de la potencia de los niveles de mezcla. Ya que, la magnitud del momento es una medida directa de la energía liberada durante un terremoto, la relación con las magnitudes determinadas a partir de la medida de amplitudes de ondas sísmicas en los sismógrafos viene limitada, tanto por la respuesta de frecuencia de la Tierra, como por la mecánica del registro en los sismógrafos. En cualquier caso, se puede afirmar que las magnitudes de momento son ligeramente mayores que las magnitudes determinadas a partir de las ondas sísmicas (Wells y Coppersmith, 1994).

A partir de los niveles de mezcla no es posible determinar la duración del evento sísmico, por lo que resulta aún más difícil establecer la relación con la magnitud del momento. De este nodo, no podemos descartar que el nivel de paleosismicidad detectado corresponda a terremotos con magnitudes de momento superiores a 4,5.

Los resultados se muestran en la tabla 2. Para distintas magnitudes de momento (entre 4,5 y 6), se calcula la suma de los hundimientos sísmicos (salto vertical acumulado) del número de eventos datados en cada segmento de co-

lumna. Su contraste con la potencia del segmento nos da el tanto por ciento de subsidencia sísmica (Tabla 3). Los resultados obtenidos son muy similares para los segmentos de las columnas de Hijar 1, Elche 1 y Cenajo 1, y sensiblemente inferiores para Hijar 2. Para terremotos de magnitudes de momento de 4,5, tan sólo el 1% de la potencia sedimentaria de los distintos segmentos de columna puede explicarse directamente por la actividad paleosísmica detectada. Para magnitudes de momento de 5, el resultado es del 8%, mientras que para 5,5 es el 46%. Tan sólo si todos los terremotos detectados tuviesen magnitud de 6, la tasa de subsidencia sísmica excedería a la potencia de sedimentos acumulada en los periodos de tiempo correspondientes a los segmentos de columna considerados. Los valores inferiores (aproximadamente la mitad) que aparecen en el segmento Hijar 2 se deben, probablemente, a movimientos de creep de las fallas que limitan la cuenca. Estos movimientos de *creep* quedan registrados en los sedimentos mediante estructuras de *loop bedding* (Calvo *et al.*, 1998).

Terremoto máximo esperado

Para restringir algo más estos resultados, podemos efectuar otra relación con la magnitud del momento utilizando el ábaco de longitud de ruptura superficial (Wells y Coppersmith, 1994) (Fig. 1B). Dado que el 95% de las estructuras generadas por terremotos se pueden localizar a menos de 25 km de los epicentros (Galli y Ferrelli, 1995), se puede suponer que los terremotos detectados en cada cuenca fueron producidos por las fallas que condicionan la sedimentación.

En la tabla 4 se muestran las longitudes de las fallas que condicionaron la sedimentación en las distintas cuencas (Rodríguez Pascua, 1998). Si suponemos roturas no segmentadas de cada falla, podemos deducir las magnitudes del momento (M) máximas para cada una de ellas. Estas oscilan entre 5 y 6,8 (para la falla del Río Mundo que posee una traza de 50 km).

Podemos ahora volver a analizar las tablas 2 y 3. Los resultados correspondientes a magnitudes de momento de 6 supondrían que, en el escaso periodo de tiempo correspondiente a los segmentos de columna analizados, miles de

Tabla 3

Relación entre diferentes momentos de magnitud y el porcentaje de subsidencia sísmica estimada para cada segmento de columna.

Magnitud del momento	Porcentaje de subsidencia sísmica para cada segmento de columna			
	Hijar 1	Hijar 2	Elche1	Cenajo 1
4,5	1 %	0,6 %	1 %	1 %
5	6 %	3 %	7 %	8 %
5,5	37 %	21 %	40 %	46 %
6	190 %	107 %	204 %	229%

Tabla 4
Magnitudes máximas estimadas para las fallas más representativas de cada cuenca.

Falla	Long.(km)	Mag.
C. de El Cenajo		
Fn. Borde norte	5	5,4
Fn. Borde sur	5	5,4
Ds. Del Segura	20	6,3
C. de Elche		
Fn. Borde norte	7	5,6
Fn. Borde sur	9	5,8
C. de Híjar		
Ds. Río Mundo	50	6,8
Fn. Borde norte	4	5,2
Fn. Borde sur	3	5,0

años, cada evento sísmico registrado se debería a paleoterremotos que rompieron toda la longitud de las mayores fallas de la zona. Ya que en el registro paleosísmico de las columnas estudiadas se detectan abundantes estructuras de deformación producidas por terremotos de magnitudes inferiores, los valores de magnitudes medias en torno a 6 quedan claramente excluidos. Ante esta situación, si las magnitudes determinadas a partir de los niveles de mezcla están algo subestimadas respecto a las magnitudes del momento, pensamos que los valores más ajustados son los de magnitudes promedio en torno a 5, con lo que la tasa de subsidencia de la que puede dar cuenta el proceso sísmico se sitúa hacia el 10%, no siendo superior en ningún caso al 50% del total. Hay que tener en cuenta que puede ser un proceso retroalimentado, en el que la carga sedimentaria puede facilitar los movimientos de las fallas que generan las cuencas.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Todos estos resultados, aún con sus incertidumbres, parecen indicar que en la evolución de la subsidencia global de las cuencas, el hundimiento debido de forma directa a la actividad sísmica de las fallas que las limitaron representa tan sólo una parte de la subsidencia total. De otro modo se habrían detectado rápidas tendencias a la somerización en el registro sedimentario correspondiente a los sectores de columna considerados. La subsidencia total de las cuencas se produjo a favor de las fallas normales que las limitan. Parte de esta subsidencia es sísmica, del 10% y nunca superior al 50%, y parte debido a otros procesos que generan movimientos de *creep* en las fallas normales, algunos de estos procesos podrían generar subsidencia por: carga sedimentaria, rebote elástico en el levantamiento de la Cordillera Bética o gradientes geotérmicos en la zona.

Otra posibilidad que no podemos excluir es que la capacidad de registro de eventos sísmicos en los sedimentos lacustres analizados no sea del 100%; como es el caso en el que las licuefacciones pueden generar tan solo compactación. Por lo que, estos datos de subsidencia sísmica son una

aproximación teórica a las tasas de subsidencia de estas cuencas.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha financiado con una beca del Consejo de Seguridad Nuclear (al primer autor) y el proyecto AMB 94-0994 de la CICYT.

REFERENCIAS

- Calvo, J.P., Rodríguez-Pascua, M.A., Martín-Velázquez, Jiménez, S. y De Vicente, G. (1998): Microdeformation of lacustrine laminite sequences from Late Miocene formations of SE Spain: an interpretation of loop bedding. *Sedimentology*, 45: 279-292.
- Elizaga, E. (1994): Análisis de las facies y petrología de los depósitos lacustres de edad Neogeno superior. Albacete. España. Instituto de Estudios Albacetenses, Albacete, I, 74, 216 p.
- Galli, P. y Ferreli, M. (1995): A metological approach for historical liquefaction research. En: *Perspectives in Paleoseismology* (L. Serva, y D.B. Slemmons, Eds.), Assoc. Eng. Geol., Spec. Pub., 6: 35-48.
- Jiménez Sánchez, S. (1997): Formación de depósitos diatomíticos en cuencas neógenas del sureste de la provincia de Albacete. Instituto de Estudios Albacetenses, Albacete, I, 101, 154 p.
- Marco, S., Agnon, A., Stein, M. y Ron, H. (1994): A 50,000 year continuous record of earthquakes and surface ruptures in the Lisan Formation, the Dead Sea Graben. *U.S. Geol. Surv. Open-File Rept.*, 94-568: 112-114.
- Rodríguez Pascua, M.A. (1997): Paleosismicidad en Emplazamientos Nucleares. Estudio en relación con el cálculo de la peligrosidad sísmica. Ed. Consejo de Seguridad Nuclear, 286 p.
- Rodríguez Pascua, M.A. (1997): Paleosismicidad y sismo-tectónica en las cuencas neógenas lacustres del Prebético de Albacete. Tesis Doctoral, Univ. Complutense de Madrid, 317 p.
- Rodríguez Pascua, M.A., De Vicente, G. y Calvo, J.P. (1999): Periodos de recurrencia de paleoterremotos en las cuencas neógenas lacustres (Mioceno superior) del área de Hellín (Albacete). En: *1ª Asamblea Hispano-Portuguesa de Geodisia y Geofísica* (García-García, J.M. y Romacho M.D., Eds). Univ. Almería e I.G.N. CD-Rom.
- Rodríguez Pascua, M.A., De Vicente, G., Calvo, J.P. y Gómez Gras, D. (2000): Seismites in lacustrine sediments of the Prebetic Zone, SE Spain, and their use as indicators of earthquake magnitudes during the Late Miocene. *Sedimentary Geology* (en prensa).
- Wells, D.L. y Coppersmith, K.J. (1994): New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement. *Bull. Seismol. Soc. Amer.*, 84 (4): 974-1002.